

УДК 674.053

Студ. Д. Л. Болочко

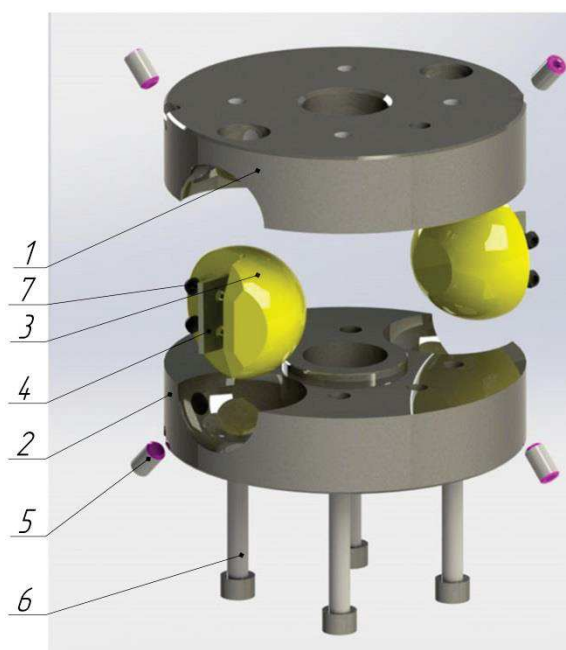
Науч. рук. доц. А. А. Гришкевич

(кафедра деревообрабатывающих станков и инструментов, БГТУ)

## РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ РАБОТЫ МОДЕЛИ ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА С АДАПТИВНЫМИ СВОЙСТВАМИ

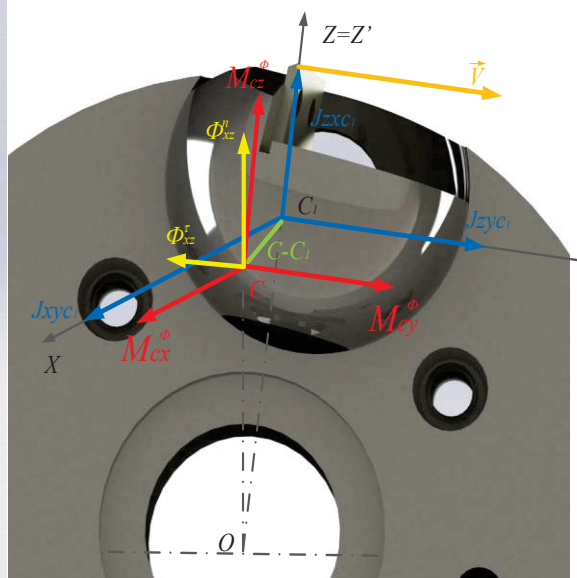
Обработка древесины и древесных материалов методом фрезерования остается значимым технологическим процессом в столярно-строительном и мебельном производствах. С этой целью была разработана конструкция фрезы сборной, которая позволяет вести исследовательские работы благодаря возможности в конструкции инструмента изменять положение ножа относительно оси вращения (угол наклона кромки  $\lambda$ ) и изменять передний и задние углы [1].

Рассматриваемая фреза (рисунок 1) позволяет уменьшить составляющие силы резания, повысить суммарную стойкость инструмента, устранить сколы на обработанной поверхности. Пространственная схема распределения сил представлена на рисунке 2.



1,2 – левая и правая части корпуса фрезы соответственно; 3 – сегментный узел;  
4 – нож; 5 – винт для фиксации сегмента;  
6 – винт для соединения частей корпуса;  
7 – винт для фиксации ножа

**Рисунок 1 – Фреза сборная с изменяемыми угловыми параметрами**



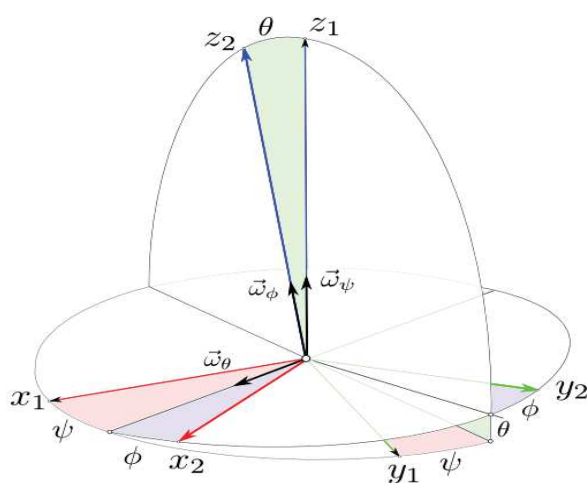
**Рисунок 2 – Схема сил, действующих на подвижный элемент в режиме разгона (торможения)**

Сегментный узел 3, на котором крепится нож, является частью шара, и контактирует с корпусом 1,2 по части сферической поверхности

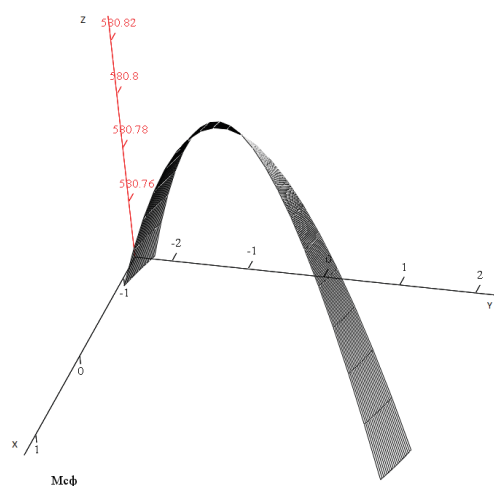
сти. Ввиду этого он имеет три вращательных степени свободы относительно корпуса фрезы, что обеспечивает возможность углов резания.

При эксплуатации инструмента с подвижными элементами важным является фиксирование движущихся частей относительно корпуса во время разгона.

Для расчетов сил и возникающих от них моментов предлагается использование углов Эйлера с центром координат, находящимся на оси вращения инструмента. Предложенная модель позволяет определять реакцию связи корпуса инструмента с подвижным сектором и изучать особенности взаимодействия адаптивного инструмента с обрабатываемым древесным материалом.



$\psi$  – угол прецессии,  $\theta$  – угол нутации,  
 $\phi$  – угол собственного вращения  
**Рисунок 3 – Схема трёх последовательных поворотов**



**Рисунок 4 – График зависимости общего момента силы инерции от углов  $\psi$  и  $\theta$**

На рисунке 3 приведена схема выполнения трех последовательных поворотов. Матрицы элементарных поворотов будут иметь вид:

$$A_{\psi} = \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; A_{\theta} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix};$$

$$A_{\phi} = \begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \phi & 0 \\ -\sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Перемножая матрицы элементарных поворотов в обратном порядке, получим матрицу направляющих косинусов для сложного поворота:

$$A^{21} = A_{\varphi} \cdot A_{\theta} \cdot A_{\psi} = \begin{bmatrix} \cos \psi \cdot \cos \phi - \sin \psi \cdot \cos \theta \cdot \sin \phi & \sin \psi \cdot \cos \phi + \cos \psi \cdot \cos \theta \cdot \sin \phi & \sin \theta \cdot \sin \phi \\ -\cos \psi \cdot \sin \phi - \sin \psi \cdot \cos \theta \cdot \cos \phi & -\sin \psi \cdot \sin \phi + \cos \psi \cdot \cos \theta \cdot \cos \phi & \sin \theta \cdot \cos \phi \\ \sin \psi \cdot \sin \theta & -\cos \psi \cdot \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$$

Дальнейшие расчёты будем выполнять с использованием программы Mathcad.

Зададимся следующими параметрами разгона фрезерного инструмента с целью изучения расчетной модели:

- $\omega = 600 \text{ с}^{-1}$  – угловая скорость вращения инструмента;
- $\varepsilon = 20 \text{ с}^{-2}$  – угловое ускорение инструмента в режиме разгона;
- $m = 0,2 \text{ кг}$  – масса подвижной части инструмента;
- $\varphi_0 = \theta_0 = \psi_0 = 0$  – углы в начальном положении.

На рисунке 4 приведён график зависимости общего момента силы инерции от углов  $\psi$  и  $\theta$ . Как видно из графика максимальный общий момент силы инерции (ось  $z$ ) достигается тогда, когда угол в плане  $\psi$  (ось  $y$ ) и угол резания  $\theta$  (ось  $x$ ) равны 0.

#### Выводы:

1. Для определения сил, действующих на сегмент инструмента, разработана 3D модель и для расчёта сил введены углы Эйлера.
2. Проведены расчёты и определены составляющие силы резания и инерции, действующие на нож и подвижный элемент фрезы (держатель ножа) с учётом углов Эйлера.
3. Анализируя графики, представленные программой Mathcad можно сделать вывод о том, что момент силы инерции меняет своё значение при изменении углов в диапазоне от -4 до 4 градусов. Максимальный момент силы инерции достигается при углах равных  $0^\circ$  и равен 580,829 Н·м.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гришкевич, А.А. Особенности фрезерного сборного инструмента с изменяемыми углами: передним и наклона режущей кромки // А.А. Гришкевич, А.Ф. Аникеенко, В.Н. Гаранин // Труды БГТУ. – 2014. – Сер II (166): Лесная и деревообраб. пром-сть. – С. 175-177.
2. Мусхелишвили Н. И. Курс аналитической геометрии М.: МГУ, 1967. – 655 с.